

Projet n°AURG/2/161

Aval Fonio

Amélioration de l'après récolte et valorisation du fonio en Afrique

WORK PACKAGE 3

Amélioration des techniques de transformation et de stabilisation du fonio

Livrable 11

Expérimentation en milieu contrôlé et en entreprise du séchoir serre solaire CSec-S



Auteurs: RIVIER Michel, DIALLO Abdoul, KEBE Cheikh Mouhamed Fadel, ANNE Alkassoum Abdoulaye, CRUZ Jean-François

Coordination générale du projet : CRUZ Jean-François (Cirad)

Coordination du projet au Sénégal : KEBE Cheikh Mouhamed Fadel (ESP-UCAD)

CIRAD (Centre de Coopération internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) – France

ESP-UCAD (Ecole Supérieure Polytechnique / Université Cheikh Anta Diop) - Sénégal

Janvier 2017



Union Africaine



Union Européenne
Procédure EuropeAid

Projet n°AURG/2/161

Aval Fonio

Amélioration de l'après récolte et valorisation du fonio en Afrique

WORK PACKAGE 3

Amélioration des techniques de transformation et de stabilisation du fonio

Livrable 11

Expérimentation en milieu contrôlé et en entreprise
du séchoir serre solaire CSec-S

Coordination générale du projet : CRUZ Jean-François (Cirad)

Coordination du projet au Sénégal : KEBE Cheikh Mouhamed Fadel (ESP-UCAD)

CIRAD (Centre de Coopération internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) – France

ESP-UCAD (Ecole Supérieure Polytechnique / Université Cheikh Anta Diop) - Sénégal

Janvier 2017

Auteurs:

RIVIER Michel (1), DIALLO Abdoul (2), KEBE Cheikh Mouhamed Fadel (2), ANNE Alkassoum Abdoulaye (2), CRUZ Jean-François (1),

(1) Cirad (Centre de Coopération internationale en Recherche Agronomique pour le Développement)
UMR QualiSud, Département Persyst, TA B-95/15, 73 rue J- F. Breton, 34398 Montpellier Cedex 5, France.

(2) ESP – UCAD (Ecole Supérieure Polytechnique – Université Cheick Anta Diop), Dakar Fann, Sénégal.

Ce travail a été réalisé en partenariat avec

Au Sénégal

Mme NDIAYE Aïssatou (Directrice GIE Koba Club, Kédougou)

Mme SOW Adjil Madjiguene (ESP-UCAD, WP3)

BARRY Kéba, (GIE Koba Club, Responsable production, Kédougou)

DRAME Birahim, (Responsable d'usine GIE Koba Club, Kédougou)

SAMBOU Vincent (ESP-UCAD)

WANE Ousmane (ESP-UCAD)

GOUBA Daniel (Entreprise CSBAT, Dakar)

En France

MEOT Jean-Michel, (Cirad, UMR QualiSud, WP3)

GOLI Thierry, (Cirad, UMR QualiSud, WP3)

FERRÉ Thierry (Cirad, UMR Innovation, WP4)

Les auteurs souhaitent également remercier :

- tous les personnels de l'entreprise Koba Club (Sénégal) qui ont participé aux essais du séchoir « serre solaire CSec-S » à Kédougou.
- tous les agents des instituts de recherche qui ont participé aux différentes activités du projet Aval Fonio dans le cadre du WP3 « Amélioration des techniques de transformation et de stabilisation du fonio ».

Nota : Ce travail est soutenu financièrement par l'Union Africaine (procédure EuropeAid). Il ne reflète pas nécessairement les vues et en aucun cas ne préfigure la politique future de l'Union Africaine dans le domaine.

Photo de couverture :

Expérimentation du séchoir serre solaire CSec-S à l'ESP/UCAD à Dakar (© J-F. Cruz, Cirad)

Table des matières

1. Introduction	2
2. Le séchoir serre solaire CSec-S.....	2
3. Les sites d'expérimentation.....	3
3.1 Expérimentation en milieu contrôlé	3
3.2 Expérimentation en milieu réel	3
3.2.1. Choix du site d'expérimentation	3
3.2.2. Le GIE Koba Club de Kédougou	4
4. Expérimentation du séchoir CSec-S en milieu contrôlé.....	5
4.1. Montage du séchoir CSec-S à l'ESP-UCAD à Dakar.....	5
4.2. Instrumentation du séchoir CSec-S	6
4.3. Essais de validation du séchoir CSec-S.....	6
4.3.1. Essais préliminaires.....	6
4.3.2. Essai en vraie grandeur du séchoir CSec-S	8
5. Expérimentation du séchoir CSec-S en milieu réel.....	9
5.1. Implantation du séchoir serre solaire CSec-S au Sénégal Oriental	9
5.2. Tests du séchoir serre solaire CSec-S à Kédougou	10
5.2.1. Test préliminaire	10
5.2.2. Test de validation	10
5.3. Suivi de séchage du fonio en entreprise (GIE Koba Club)	12
5.3. Implantation d'un séchoir type « serre solaire » en Guinée.....	13
6. Conclusion.....	13
7. Bibliographie	14

1. Introduction

Au niveau des petites unités de transformation (groupements de femmes, petites agro-industries...) le séchage des produits du fonio (fonio blanchi lavé, fonio précuit,...) est souvent réalisé par une exposition directe au soleil en étalant les grains sur des nattes ou des plateformes recouvertes d'un tissu (Cruz *et al.*, 2011). Au cours du séchage les grains risquent alors d'être pollués par diverses impuretés (poussières, fientes d'oiseaux,...) qui déprécient considérablement le fonio. Deux types de séchoirs ont été conçus par le Cirad afin d'améliorer la qualité du fonio commercialisé (Marouzé *et al.*, 2008). Il s'agit d'un séchoir solaire de type «serre solaire» (CSec-S) et d'un séchoir à claies de type traversant (CSec-T). Dans le cadre du projet Aval Fonio, l'activité 4 du WP3 a pour objet «d'adapter et de valider ces séchoirs pour les PME transformatrices de fonio». L'objet de ce livrable 11 est de présenter les résultats des expérimentations du séchoir CSec-S en milieu contrôlé et en entreprise.

2. Le séchoir serre solaire CSec-S

Le séchoir serre solaire CSec-S est présenté dans le livrable 9 « *Séchage du fonio – Le séchoir serre solaire CSec-S* » (Cruz *et al.*, 2017). Il est constitué d'une serre agricole d'une surface d'environ 90 m² (14 x 6,4 m) et d'un volume de 200 m³ (figure 1). Il se compose d'une structure en tubes galvanisés reposant sur une dalle et supportant un film plastique.

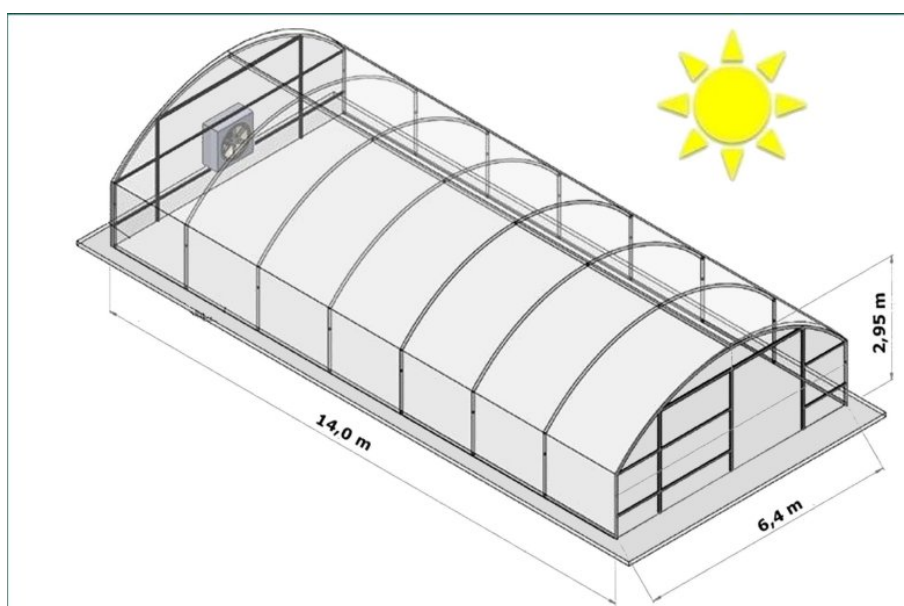


Figure 1. Schéma du nouveau séchoir serre solaire CSec-S (© A. Diallo, ESP).

Les pignons sont en plexiglass. Le pignon avant est équipé d'une porte coulissante et de 2 fenêtres d'aération. Le pignon arrière est équipé d'un ventilateur axial, alimenté par un panneau solaire, qui permet de renouveler l'air du séchoir.

Le séchoir « serre solaire » CSec-S est équipé de 8 (à 10) claies rectangulaires suspendues aux arceaux de la serre. Les claies sont en bois avec fond en treillis métallique recouvert d'un tissu type voile ou popeline pour recevoir le fonio étalé en couche mince (Cruz *et al.*, 2016a). Les dimensions des claies sont de 2,5 m x 1,5 m (avec séparation en 4 zones représentant une surface utile de 3,5 m²).

3. Les sites d'expérimentation

3.1 Expérimentation en milieu contrôlé

Pour la réalisation des essais en milieu contrôlé, il a été décidé d'implanter le séchoir serre solaire CSec-S sur le site même de l'École Supérieure Polytechnique (ESP-UCAD) à Dakar. Le séchoir qui est ainsi situé à proximité du bureau du coordonnateur du projet au Sénégal a pu bénéficier de l'attention et du suivi de la part de l'équipe sénégalaise d'Aval Fonio (figure 2).



Figure 2. Implantation du séchoir CSec-S sur le site de l'ESP UCAD

3.2 Expérimentation en milieu réel

3.2.1. Choix du site d'expérimentation

Au cours de l'été 2014, une étudiante française de l'IRC-SupAgro Montpellier (Mlle Sarah Gaucher) a réalisé un stage de 6 mois sur l'étude des petites entreprises de transformation du fonio au Sénégal Oriental (région de Kédougou et Salémata). Encadrée par le Cirad (J-F Cruz) et l'ESP-UCAD (F. Kébé), la stagiaire a séjourné au Sénégal (Sénégal Oriental puis Dakar) durant 4 mois, de mai à août 2014.

Les enquêtes ont été réalisées auprès de 67 ateliers de transformation qui regroupent des femmes qui s'organisent le plus souvent en GIE (groupement d'intérêt économique) ou en simple groupement sans statut professionnel particulier (Gaucher, 2014).

La typologie sommaire des ateliers de transformation a été faite en fonction de différents critères qui portent notamment sur le volume de production et la mécanisation de certaines étapes du procédé, l'aptitude à commercialiser les produits transformés, le rayonnement et la capacité à innover et à s'agrandir des groupements ont également été pris en compte. Les résultats ont permis d'identifier 3 groupes de GIE (figure 3)

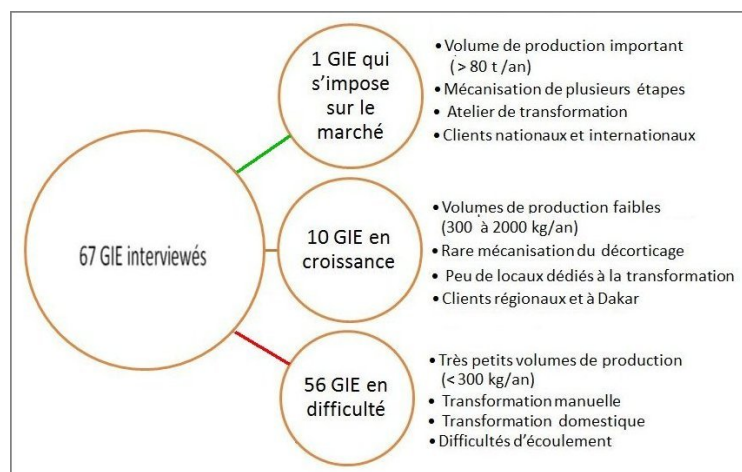


Figure 3. Typologie sommaire des GIE de transformation du fonio au Sénégal Oriental (S. Gaucher, Cirad)

Les critères retenus pour le choix des unités de transformation capables de recevoir les nouveaux équipements dont le séchoir CSec-S ont été les suivants :

- Atelier disposant d'un espace consacré aux activités de transformation et ayant une production suffisante (> 20t/an) pour permettre l'expérimentation d'équipements,
- Contrats fiables et durables avec les clients pour assurer l'écoulement du fonio produit.
- Intérêt pour l'innovation et l'investissement durable.
- Bonne organisation au sein du GIE

Le seul atelier identifié comme ayant un volume de production supérieure à 20 t par an et une organisation solide pour mener à bien les essais expérimentaux est le GIE *Koba Club* de Kédougou.

3.2.2. Le GIE Koba Club de Kédougou

Le GIE Koba Club de Kédougou, présidé par Mme Aïssata Aya Ndiaye, est connu dans tout le pays et a été le premier à commercialiser du fonio précuit il y a une vingtaine d'années. Mme Ndiaye est également la présidente des groupements de femmes du Sénégal Oriental et participe pleinement au développement de petits autres GIE.

L'activité principale du GIE Koba Club est la transformation du fonio et la production de fonio précuit pour le marché national et l'exportation. Le GIE Koba Club est composé de 24 femmes qui réalisent les opérations manuelles de lavage-dessablage et de tamisage et de 27 hommes qui s'occupent des autres postes comme l'utilisation des machines de décortiquage (décortiqueurs GMBF...) et le conditionnement. En 2014, le GIE Koba Club est déjà en partie mécanisé pour certaines étapes de transformation du fonio. Il dispose ainsi de:

- Deux décortiqueurs GMBF pour le décortiquage-blanchiment du fonio
- Un décortiqueur Sanoussi
- Un tamiseur de fonio
- Un séchoir à gaz (de type Atesta) utilisé lors de l'hivernage (cet équipement présente des fuites thermiques qui ralentissent le séchage du fonio).
- Deux séchoirs solaires situés à l'extérieur du local utilisé lors de la saison sèche, avec une capacité de production très faible (8 kg par jour).

En 2014, le volume de production du GIE Koba Club restait le plus important du Sénégal car il était, en moyenne, de 7 tonnes par mois dont 75% produits au niveau de sa propre unité de production et 25 % achetés auprès des transformatrices ou d'autres GIE de la région. Koba Club est en relation avec plus d'une douzaine de fournisseurs de fonio décortiqué, lavé-dessablé (de Guinée notamment) et de fonio précuit provenant de communes du Sénégal Oriental comme Bandafassi, Dindéfello ou Salémata (figure 4)

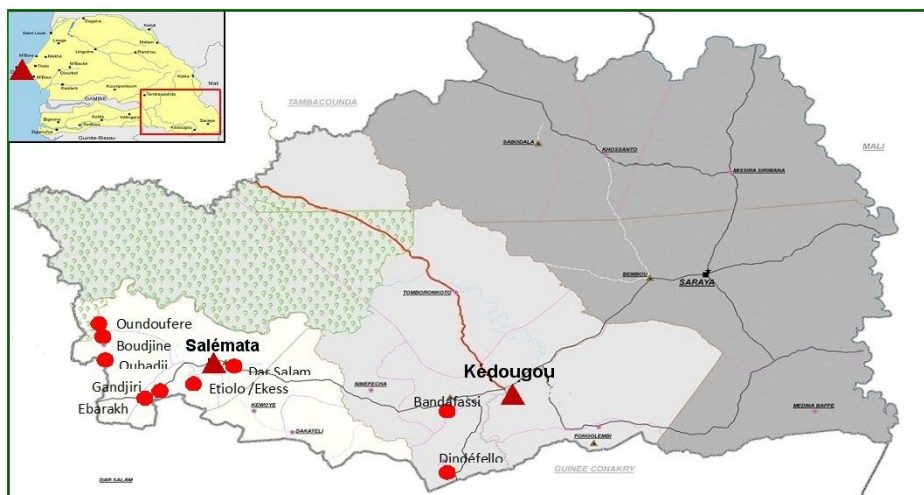


Figure 4. Zone du Sénégal Oriental (S. Gaucher, Cirad)

4. Expérimentation du séchoir CSec-S en milieu contrôlé

4.1. Montage du séchoir CSec-S à l'ESP-UCAD à Dakar

La construction du séchoir serre solaire CSec-S a été réalisée en janvier 2015 sur le site de l'École Supérieure Polytechnique (ESP-UCAD) à Dakar. Comme l'implantation devait être temporaire, la structure métallique a été posée directement sur le sol comme illustré en figure 5.



Figure 5. Montage de la structure du séchoir serre solaire à Dakar (© ESP)

Après le montage des pignons avant et arrière du séchoir, le film plastique thermique a été déroulé de manière à recouvrir l'ensemble de la structure métallique (figure 6). Dans cette configuration sans dalle, le film plastique déroulé sur les côtés est ensuite enterré dans une tranchée faite au sol et recouvert de sable pour assurer sa fixation et l'étanchéité de la serre.



Figure 6. Mise en place du film plastique (© ESP)



Figure 7. Vue générale du séchoir serre solaire à Dakar (© T. Ferré, Cirad)

4.2. Instrumentation du séchoir CSec-S

Le séchoir serre solaire CSec-S a été instrumenté pour permettre un suivi des conditions de séchage du fonio, selon un protocole défini par le Cirad en collaboration avec l'ESP/UCAD.

Le séchoir serre est équipé de l'instrumentation suivante :

- treize capteurs thermomètre-hygromètre répartis dans tout le volume de la serre,
- un pyranomètre de mesure du rayonnement solaire, positionné sur un mat extérieur à la serre,
- une centrale d'acquisition des données relevées par les capteurs et le pyranomètre.

Le schéma de l'instrumentation est donné en figure 8.

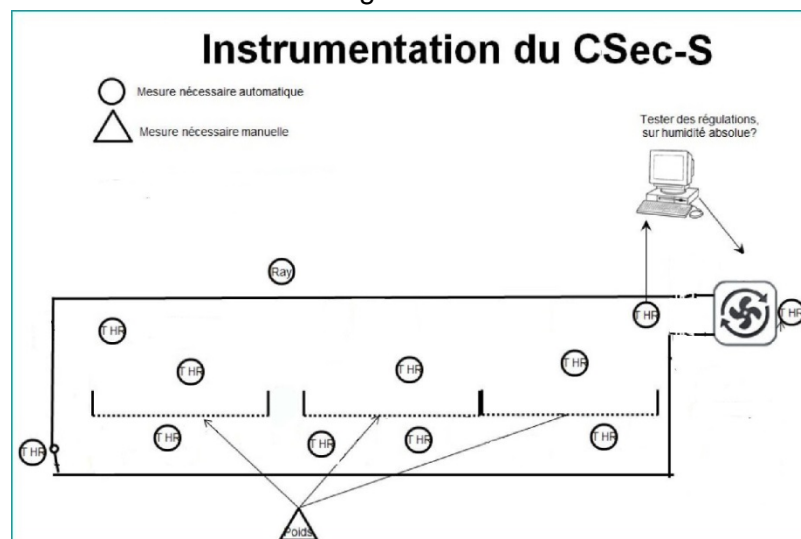


Figure 8. Instrumentation du séchoir « serre solaire » CSec-S

Les instrumentations de la serre solaire (sondes thermométriques, sondes hygrométriques, centrales d'acquisition...) ont été installées à l'occasion d'une mission d'appui de la société française Sirea effectuée en janvier 2015 (Cruz *et al.*, 2016b).

4.3. Essais de validation du séchoir CSec-S

4.3.1. Essais préliminaires

Un premier essai de validation du séchoir CSec-S a été réalisé à l'ESP-UCAD en mars 2015 à l'occasion de la mission d'appui du Cirad. Cet essai a été réalisé sur produit modèle avec des serpillères imbibées d'eau. Une soixantaine de serpillères de 0,5 m² (soit 30 m² de surface de serpillères) ont été imbibées de 31,7 kg d'eau (soit 1 kg d'eau par m² de surface). Elles ont été étalées sur 8 claies suspendues dans la serre. Des serpillères « témoins » ont été pesées régulièrement au cours de l'essai pour suivre la cinétique de séchage et juger la fin du séchage (Rivier, 2015).

Les caractéristiques principales de l'essai de séchage du produit modèle sont données dans le tableau 1 suivant :

Tableau 1. Caractéristiques de l'essai de séchage sur produit témoin.

Heure de début de séchage	11h30
Heure de fin de séchage	15h30
Durée du séchage	4h00
Quantité d'eau évacuée	29,8 kg

Au cours du séchage, la quantité d'eau évacuée a ainsi été de 1kg/m² de surface de claies. Par ailleurs, la pesée de serpillères témoins a permis de constater une très bonne homogénéité de séchage pour les différentes claies (Cruz et Kébé, 2015).

Un second essai de séchage a été réalisé en chargeant 2 des 8 claies avec du fonio précuit réhumidifié à 30 %. Sur 6 claies, on a ainsi disposé 45 serpillères de 0,5 m² (22,5 m²) imbibées de 25,95 kg d'eau (soit légèrement plus d'1 kg d'eau par m² de surface). Sur les 2 claies restantes on a étalé 31 kg de fonio humide (ce qui représente également 1kg d'eau par m²) selon le schéma de la figure 9.

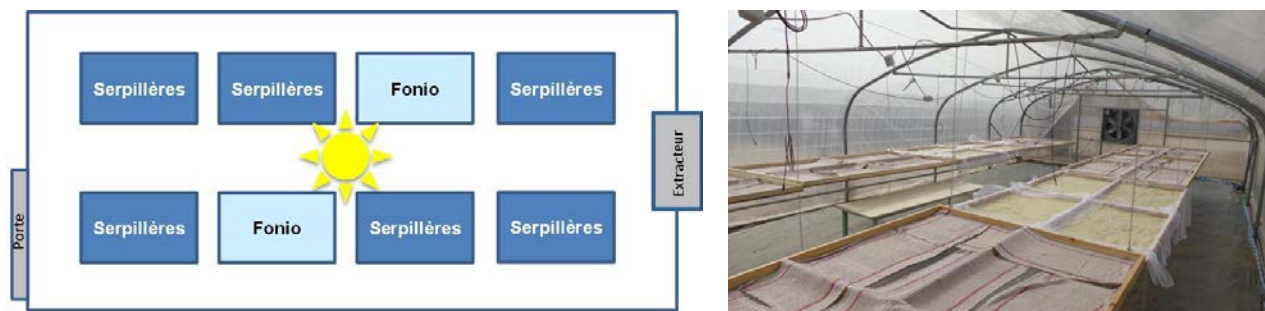


Figure 9. Schéma et vue du 2^{ème} essai préliminaire (© M. Rivier, Cirad)

Des serpillères «témoins» et un compartiment de fonio «témoin» par claie ont été pesés régulièrement au cours de l'essai pour suivre la cinétique de séchage et décider la fin du séchage. Les caractéristiques principales de l'essai de séchage du produit modèle sont données dans le tableau 2 suivant :

Tableau 2. Caractéristiques de l'essai de séchage sur produit témoin.

Heure de début de séchage	10h33
Heure de fin de séchage	15h03
Durée du séchage	4h30
Quantité d'eau évacuée	33,3 kg

Au cours du séchage, la quantité d'eau évacuée a ainsi été légèrement supérieure à 1kg/m² de surface de claies (léger sur-séchage). Par ailleurs, les pesées des témoins ont permis de constater une très bonne homogénéité de séchage pour les différentes claies (Rivier, 2015).

Les températures et les humidités dans la serre ont été relevées durant tout un essai et leur évolution est présentée en figure 10.

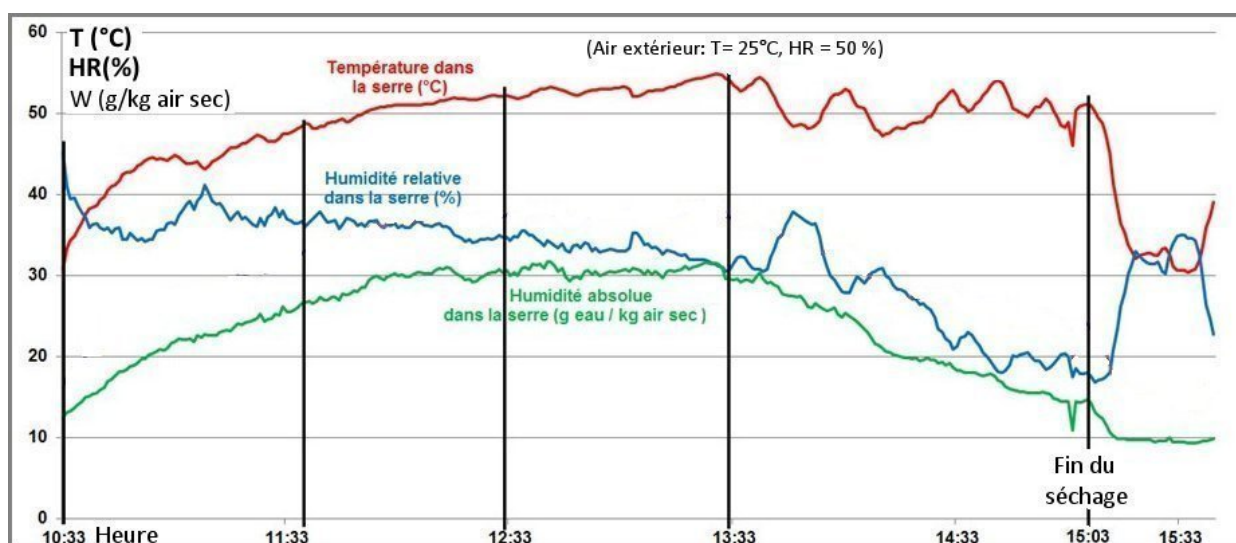


Figure 10. Suivi des températures et des humidités de l'air dans le séchoir CSec-S (© M. Rivier, Cirad)

On note que la température dans la serre atteint une valeur supérieure à 50°C (avec un maximum à 55°C) pour une température moyenne de l'air extérieur de 25°C. L'humidité absolue de l'air dans

la serre est passée de 12 g d'eau/kg d'air en début de séchage à une valeur de 30 g d'eau/kg d'air au cours du séchage pour diminuer ensuite en fin de séchage (Rivier, 2015).

Lors des essais expérimentaux réalisés à Dakar, le rayonnement solaire sur la serre (exprimée en W/m^2), a pu être relevé au pyranomètre. La courbe représentée (figure 11) montre que le rayonnement solaire est surtout efficace ($> 600 W/m^2$) entre 10 h et 16 h avec un maximum proche de $1000 W/m^2$ vers 13 h.

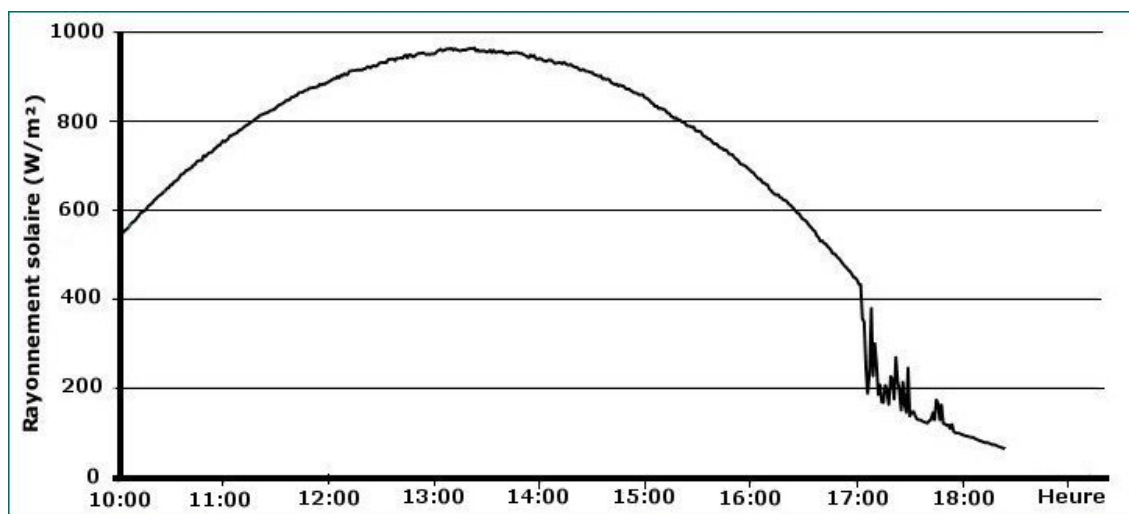


Figure 11. Rayonnement solaire sur la serre au cours d'une journée (© M. Rivier, Cirad)

Pour une température extérieure de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, la température dans la serre peut atteindre 55 à $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Cette température peut être abaissée par la mise en route de l'extracteur pour permettre, au besoin, aux opérateurs de charger ou de vider le séchoir dans des conditions de température moins éprouvantes.

Les résultats des essais préliminaires montrent qu'au cours du séchage, la quantité d'eau évacuée a été légèrement supérieure à $1\text{ kg}/m^2$ de surface de claies. Les pesées des témoins ont également permis de constater une très bonne homogénéité de séchage pour les différentes claies (Rivier, 2015).

4.3.2. Essai en vraie grandeur du séchoir CSec-S

Un essai de validation du séchoir CSec-S, réalisé en juin 2015, a porté sur le séchage de 315 kg de fonio précuit humide (a priori 35 %) répartis en couche mince sur 10 claies (ou 35 m^2) comme illustré en figure 12 et figure 13.

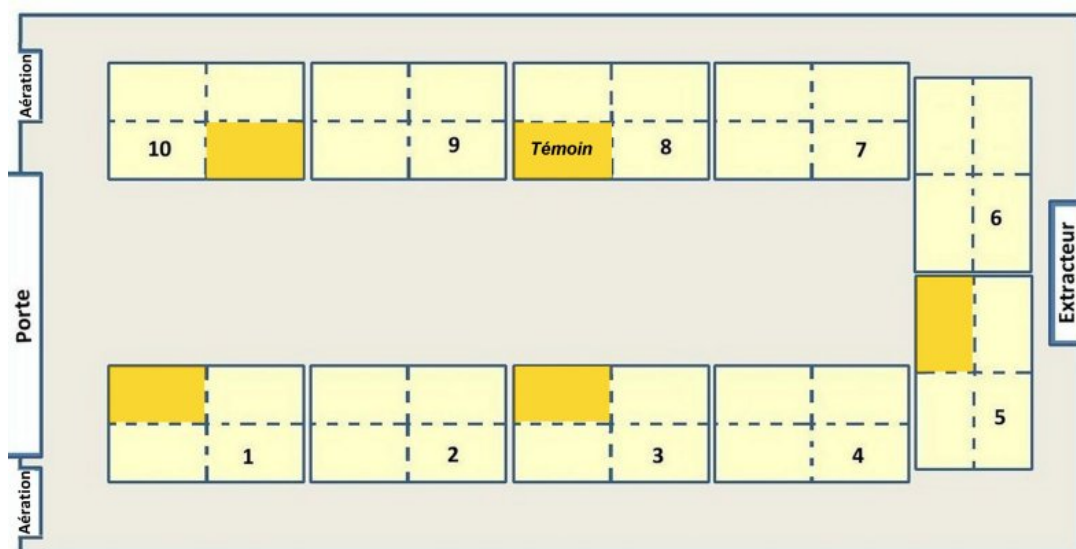


Figure 12. Schéma de la disposition des claies de séchage dans le séchoir CSec-S (© M. Rivier, Cirad)



Figure 13. Essai de séchage du fonio en serre solaire à Dakar (© J-F Cruz, Cirad)

A l'issue du test, on a obtenu 210 kg de fonio sec après une durée de séjour du fonio dans la serre de plus de 20h (avec approximativement 9h d'ensoleillement effectif). Des pesées périodiques de claies témoins ont permis de vérifier une bonne homogénéité de séchage sur les différentes claies (Cruz *et al.*, 2016a).

5. Expérimentation du séchoir CSec-S en milieu réel

5.1. Implantation du séchoir serre solaire CSec-S au Sénégal Oriental

Le second séchoir serre solaire CSec-S acquit dans le cadre du projet Aval Fonio a été transféré à Kédougou au Sénégal Oriental à la fin de l'année 2015 (Diallo, 2015). Le choix de son implantation au GIE Koba Club découle du fait qu'il s'agit de la principale structure de transformation du fonio au Sénégal Oriental avec une production de plus de 200 kg de fonio précuit par jour (Kébé *et al.*, 2013; Gaucher, 2014).

Le montage du séchoir CSec-S au GIE Koba Club, est décrit dans le livrable 10 « *Dossier d'adaptation et de montage du séchoir solaire CSec-S* ».



Figure 14. Implantation du séchoir serre solaire CSec-S à Kédougou (© A. Diallo, ESP)

5.2. Tests du séchoir serre solaire CSec-S à Kédougou

5.2.1. Test préliminaire

Un premier test de séchage de 250 kg de fonio précuit a été réalisé après l'installation du séchoir CSec-S au GIE Koba Club de Kédougou mais les résultats ne sont pas significatifs car cet essai de prise en main du séchoir s'est déroulé sur 2 jours (Diallo et Anne, 2016).

5.2.2. Test de validation

5.2.2.1. Conditions d'essai

Importance du lot

Un second test a été réalisé le 7 janvier 2016 qui a porté sur le séchage de 144 kg de fonio précuit. Le chargement a été réalisé le 6 janvier vers 21h. Le produit a été réparti sur 9 claies à raison de 16 kg de fonio humide par claie (soit 4 kg par compartiment de claie).

Des compartiments « témoins » ont été repérés puis pesés régulièrement au cours de l'essai afin de suivre l'évolution du séchage jusqu'à l'obtention du produit sec souhaité. Si l'on considère que le produit humide a une humidité initiale de 30 %, alors un compartiment de 4 kg de produit humide aura été séché jusqu'à une humidité finale de 10 % lorsque sa masse ne sera plus que de 3,11 kg.

Rayonnement solaire

L'évolution du rayonnement solaire sur la serre lors de la journée du 7 janvier 2016 a été relevée au pyranomètre. La courbe, exprimée en W/m^2 , montre que le rayonnement solaire a atteint un maximum voisin de $850 W/m^2$ vers 13 h (figure 15).

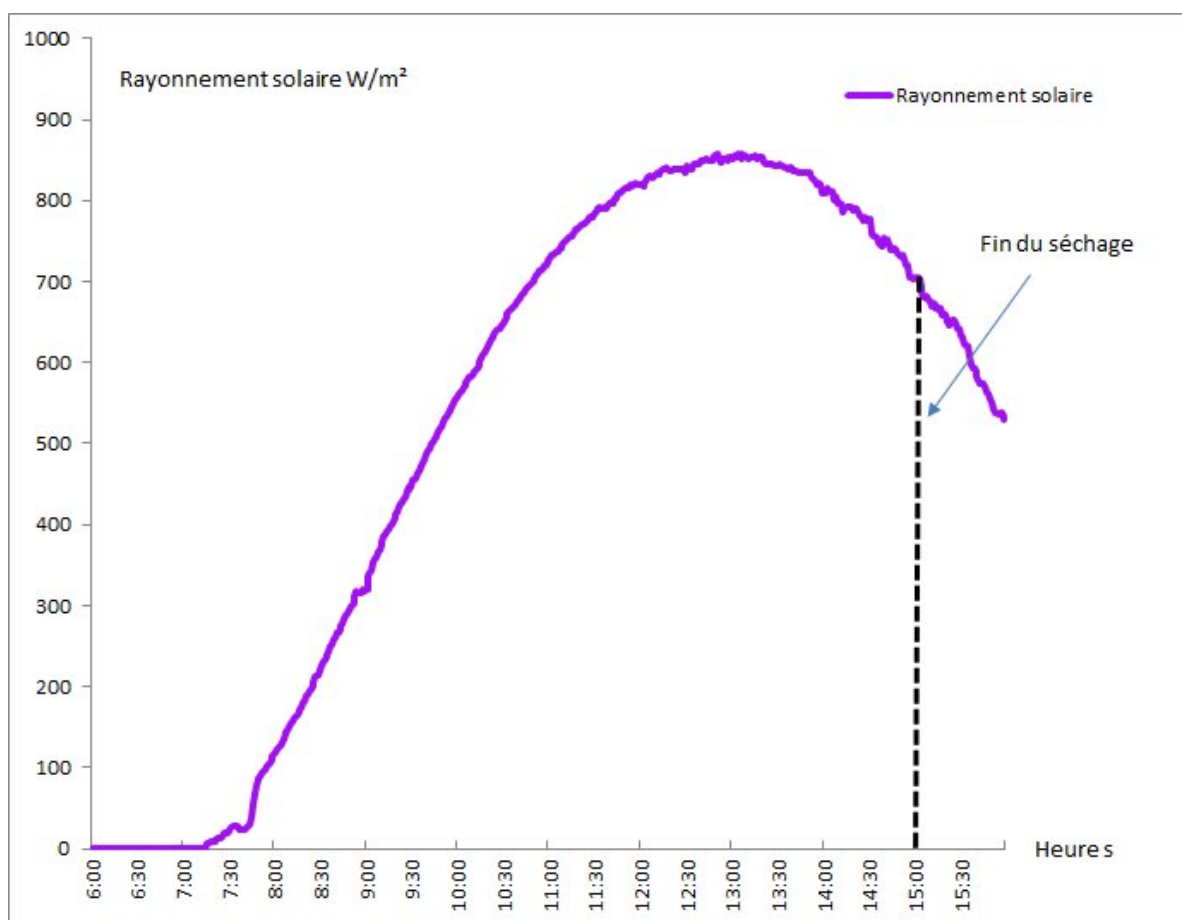


Figure 15. Evolution du rayonnement solaire au cours du séchage

Evolution de la température et de l'humidité de l'air dans le séchoir

L'évolution des conditions de l'air dans la serre solaire est représentée par la figure 16 suivante.

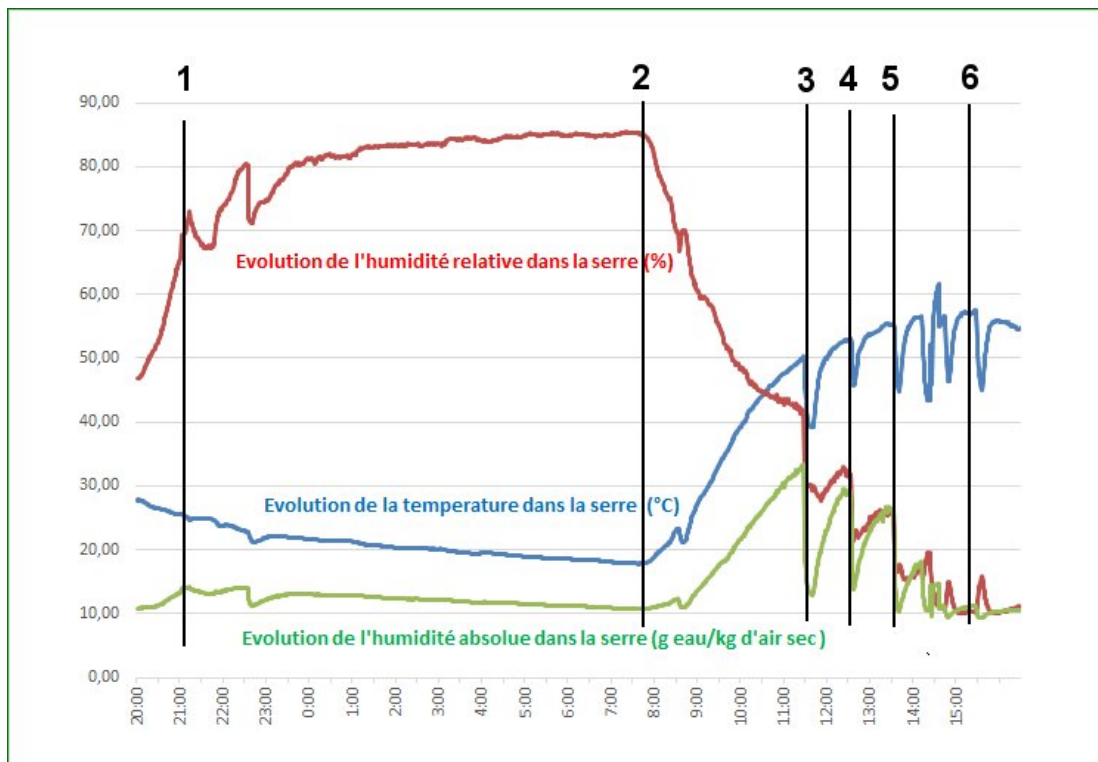


Figure 16. Evolution des conditions de l'air dans la serre solaire au cours du séchage

L'observation des courbes de la figure 16 montre qu'après le chargement du séchoir vers 21 h, (repère 1) l'humidité relative de l'air dans la serre se stabilise vers 85 % alors que, durant toute la nuit, la température dans le séchoir reste stable au voisinage de 20°C. L'humidité absolue dans le séchoir reste fixe et voisine de 12 g eau/kg d'air sec. Dès l'apparition du soleil avant 8 h (repère 2), on note un accroissement rapide de la température (et corrélativement une chute de l'humidité relative) à l'intérieur du séchoir pour atteindre 50 °C vers 11h30 à la première pesée (repère 3).

L'augmentation de l'humidité absolue de l'air qui passe de 12 à 32 g d'eau /kg d'air sec montre qu'il y a alors un fort séchage du produit durant cette séquence. La température maximale atteinte dans le séchoir est de 60°C à 14h (pour une température de l'air extérieur voisine de 32°C).

Les différents décrochements dans la courbe des températures correspondent aux mises en route de l'extracteur d'air afin de diminuer la température à l'intérieur du séchoir pour permettre aux opérateurs de pénétrer dans le séchoir afin de réaliser les prélèvements d'échantillons (repères 3,4,5 et 6) pour la réalisation des pesées et le suivi du séchage (Diallo et Anne, 2016).

5.2.2.2. Résultats du test

Les résultats du test de validation sont donnés dans le tableau 3 suivant :

Tableau 3 : Bilan du test de séchage

Début du test	6/01/2016 à 21h30
Fin du test	7/01/2016 à 15h
Durée du test	17h30
Lever du soleil	7h15
Durée effective de séchage	7h45
Quantité de fonio humide (à 30% b.h)	144 kg
Quantité de fonio sec (à 10% b.h.)	112 kg
Quantité d'eau extraite	32 kg

5.3. Suivi de séchage du fonio en entreprise (GIE Koba Club)

Un suivi du séchage de fonio précuit a été réalisé en janvier 2016 par le GIE Koba Club. Durant cette période, l'entreprise a utilisé 8 claies soit une surface de séchage de 28 m² sauf pour la journée du 25 janvier 2016, où 10 claies ont été utilisées (soit 35 m²) pour un chargement de près de 300 kg de fonio humide.

Les données fournies par le GIE Koba Club au projet Aval Fonio sont reportées dans le tableau 4.

Tableau 4. Suivi de séchage du fonio dans le séchoir CSec-S au GIE Koba Club.

N°	Date entrée	Heure	Fonio humide (kg)	Nb claies	Date sortie	Heure sortie	Durée de séchage	Durée ensoleillement	Fonio sec (kg)	Eau extraite (kg)
1	7/01/2016	19h00	108	8	8/01/2016	13h30	18h30	6h15	77	31
2	8/01/2016	18h05	175	8	9/01/2016	15h10	21h05	7h55	126	49
3	9/01/2016	18h40	150	8	10/01/2016	15h00	20h20	7h45	108	42
4	11/01/2016	17h50	185	8	12/01/2016	14h40	20h40	7h25	130	55
5	12/01/2016	18h20	155	8	13/01/2016	15h30	21h10	8h15	102	53
6	13/01/2016	18h20	166	8	14/01/2016	15h10	20h50	7h55	108	58
7	14/01/2016	18h10	182	8	15/01/2016	14h20	20h10	7h05	124	58
8	15/01/2016	19h00	168	8	16/01/2016	14h00	19h00	6h45	119	49
9	16/01/2016	19h15	119	8	17/01/2016	15h55	20h40	8h40	87	32
10	18/01/2016	18h30	157	8	19/01/2016	14h30	20h00	7h15	110	47
11	19/01/2016	19h30	182	8	20/01/2016	14h15	18h45	7h00	129	53
12	20/01/2016	18h35	189	8	21/01/2016	16h20	21h45	9h05	132	57
13	21/01/2016	18h30	123	8	22/01/2016	14h10	19h40	6h55	96	27
14	23/01/2016	19h10	153	8	24/01/2016	15h30	20h20	8h15	107	46
15	24/01/2016	18h30	267	8	25/01/2016	17h30	23h00	10h15	192	75
16	25/01/2016	19h25	298	10	26/01/2016	18h40	23h15	11h25	201	97
17	26/01/2016	19h30	140	8	27/01/2016	18h30	23h00	11h15	104	36
18	27/01/2016	18h30	205	8	28/01/2016	18h30	24h00	11h15	145	60
19	28/01/2016	18h20	213	8	29/01/2016	16h20	22h00	9h05	149	64

En reprenant les données du tableau et en supposant que l'humidité finale du fonio séché est voisine de 10 %, on se rend compte, par le calcul, que l'humidité initiale du fonio précuit placé dans la serre est, en moyenne, certainement plus proche de 35 % que de 30 % ! (lignes 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 17, 18 et 19)

Pour les lignes 5, 6 et 16 (séchages des 12, 13 et 25 janvier), l'humidité initiale du produit devait sans doute être voisine ou même supérieure à 40 % alors que pour la ligne 13, (séchage du 21 janvier), l'humidité initiale était sans doute plus proche de 30 %.



Figure 17. Séchage de fonio précuit au GIE Koba Club à Kédougou (© A. Diallo, ESP)

On remarque (ligne 16) que l'entreprise Koba Club a pu sécher 298 kg de fonio humide (de 35% à 10 %) en 23h15 de durée de séchage mais surtout en 11h25 de rayonnement solaire (en considérant un lever du soleil à 7h15). Ce séchage correspond à une charge de 30 kg de fonio humide par claie qui est la charge maximum recommandée soit environ 8,5 kg/m² (Cruz *et al.*, 2016b).

Au cours du premier semestre 2016, le GIE Koba club a continué à utiliser le séchoir en séchant de 150 à 250 kg de fonio par jour. On a pu noter que le GIE Koba Club chargeait le séchoir en fonio humide, le soir après 18h. Cette pratique n'est pas idéale car le séchoir se retrouve ainsi rempli d'une grande masse de produit humide à une heure de la journée où le rayonnement solaire est négligeable. Il s'en suivra ensuite une période d'une quinzaine d'heures (nuit et petit matin) durant laquelle la température dans la serre s'abaisse et peut entraîner des risques importants de condensation (et éventuellement de fermentation) avant que le rayonnement solaire ne redevienne efficace (Cruz *et al.*, 2016a).

5.3. Implantation d'un séchoir type « serre solaire » en Guinée

Pour que des résultats du projet Aval Fonio en matière de séchage obtenus au Sénégal puissent bénéficier à d'autres partenaires, notamment en Guinée, un petit séchoir serre a été installé dans la communauté rurale de Pilimini, préfecture de Koumbia. Dans ce village du Fouta Djallon un groupement de femmes souhaite développer son activité de transformation du fonio pour mieux valoriser cette céréale en produisant du fonio précuit (forme de fonio transformé peu répandue en Guinée). Le groupement est appuyé par l'ONG Franco-guinéenne ADESAG qui œuvre pour le développement de l'entrepreneuriat solidaire en Guinée et qui a déjà équipé le groupement d'un décortiqueur-blanchisseur GMBF (Cruz *et al.*, 2016b).

Dans un premier temps, les quantités transformées par les transformatrices étant encore relativement faibles (quelques dizaines de kg), il a été convenu que le séchoir serre solaire de marque FilClair était surdimensionné et qu'il était nécessaire de rechercher un séchoir d'une vingtaine de m² seulement. Le choix a porté sur une serre de la marque Tonneau (type 5ème saison) ayant les caractéristiques suivantes : Longueur : 4,5 m, largeur : 5 m, hauteur : 2,37m. La serre est constituée d'une armature en acier galvanisé avec une couverture transparente en PVC armé. Etant donnée sa petite taille, la serre n'est pas équipée d'un extracteur d'air mais simplement d'une porte sur chacun des pignons afin de faciliter le courant d'air pour permettre une aération naturelle (figure 16). A Pilimini, la serre a été installée sur une dalle carrelée réalisée par les bénéficiaires.



Figure 16. Le séchoir serre solaire (marque Tonneau) à Pilimini en Guinée (© H. Baldé, Adesag)

6. Conclusion

Les expérimentations réalisées en milieu contrôlé et en entreprise ont permis de valider le séchoir serre solaire CSec-S de 90 m² (6,4 m x 14 m). Equipé de 10 claies suspendues, représentant une surface de 35 m², il permet d'assurer une capacité de chargement de près de 300 kg (8,5 kg/m²) pour sécher du fonio humide transformé (blanc ou précuit) de 35 % à 10 % en moins de 24h. Les opérateurs privés qui ont participé aux essais du séchoir CSec-S sont satisfaits des bonnes performances obtenues en conditions réelles d'utilisation.

Pour assurer une utilisation plus rationnelle du séchoir serre solaire, il faut recommander un chargement du séchoir en fin de matinée afin de profiter pleinement du rayonnement solaire pour garantir un séchage efficace et une stabilisation rapide du fonio. La diffusion de ce type de séchoir est à promouvoir auprès d'unités de transformation agroalimentaires car sa polyvalence permet son utilisation sur différents types de produits agricoles (Cruz *et al.*, 2016c). Les PME visées doivent cependant disposer d'un espace suffisamment grand et dégagé pour permettre son implantation.

7. Bibliographie

- Cruz J-F., Rivier M., Kébé C. M. F., Diallo A., Anne A. 2017. Séchage du fonio - Séchoir serre solaire CSec-S. Projet Aval Fonio livrable 9. Cirad, ESP-UCAD, Cirad-Persyst, Montpellier, France. 11 p.
- Cruz J-F., Goli T., Ferré T., Thaunay P. 2016a. Amélioration de l'après récolte et valorisation du fonio en Afrique. Projet Aval Fonio. Rapport scientifique et technique final. Cirad-Persyst, Montpellier, France, 48 p.
- Cruz J-F., Goli T., Ferré T., Thaunay P. 2016b. Amélioration de l'après récolte et valorisation du fonio en Afrique. Projet Aval Fonio. Rapport annuel 2015-2016. Cirad-Persyst, Montpellier, France, 47 p.
- Cruz J-F., Rivier M., Diallo A., Ferré T., Kébé C. M. F., Anne A., Sambou V., Médah I., Méot J-M. 2016c. Séchoir serre solaire CSec-S. In : Adaptation et résilience du changement climatique pour un développement durable : place et rôle de la science, de la technologie et de l'innovation : FRSIT 2016. Ouagadougou, Burkina Faso. 1 poster
- Cruz J-F., Kébé C. M. F. 2015. Rapport de l'atelier de Dakar du 8 au 12 juin 2015. Projet Aval Fonio. Amélioration de l'après récolte et valorisation du fonio en Afrique. Cirad, ESP-UCAD, Cirad-Persyst, Montpellier, France. 32 p. (diffusion restreinte).
- Cruz J-F., Béavogui F., Dramé D. 2011. Le fonio, une céréale africaine. Collection Agricultures tropicales en Poche, Quae, Cta, Presses agronomiques de Gembloux, 175 p.
- Diallo A., Anne A. A. 2016. Instrumentation et essais de validation du séchoir «serre solaire » CSec-S. Rapport de mission à Kédougou du 25 décembre 2015 au 8 janvier 2016. Projet Aval Fonio. ESP-UCAD, Dakar, Sénégal. 19 p. (diffusion restreinte)
- Diallo A. 2015. Rapport de mission à Kédougou du 30 octobre au 2 novembre 2015. Projet Aval Fonio. ESP-UCAD, Dakar, Sénégal. 10 p. (diffusion restreinte)
- Gaucher S. 2014. Les contraintes au développement des entreprises de transformation du fonio au Sénégal Oriental. Projet Aval Fonio. Mémoire de fin d'étude. Montpellier SupAgro. Spécialité Systèmes Agricoles et agroalimentaires durables au Sud (SAADS). Option: Industrie agroalimentaire au Sud (IAAS) Montpellier, France. 38 p. + annexes. (diffusion restreinte).
- Kébé C.M.F., Cissé M., Ayessou N. 2013. Rapport de mission à Salémata, Kédougou et Kayes du 3 au 7 août 2013. Projet Aval Fonio. ESP-UCAD, Dakar, Sénégal. 8 p. (diffusion restreinte)
- Marouzé C., Cruz J.F., Rivier M. 2008. Equipements pour le séchage du fonio. Projet INCOFONIO. Amélioration de la qualité du fonio et de la compétitivité de la filière fonio en Afrique de l'Ouest. Cirad, Montpellier, France. 10 p.
- Rivier M. 2015. Essais de validation des séchoirs « à flux traversant » (CSec-T) et « serre solaire » (CSec-S). Projet Aval Fonio. Cirad, Montpellier, France. 20 p.

